

並列光インターコネクション用 622Mbps/ch×12ch 送受信モジュール

○米田勲生、*松本清人、長堀剛、**芝和宏、**千賀賢一、***三好一徳

○NEC 伝送デバイス事業部

*NEC 山梨 **関西エレクトロニクス研究所 ***光・超高周波デバイス研究所

〒211-8666 川崎市中原区下沼部 1753

Tel : 044-435-5249 E-mail : i-yoneda@cp.jp.nec.com

あらまし

交換機や超並列計算機等の装置間、装置内大容量データ伝送用の 622Mbps/ch×12ch 送受信モジュールを開発した。実装コストの低減に有利なパッシブアライメント実装技術を波長 1.3 μ m の 12ch ファブリペロレーザと 12ch-InGaAsPIN フォトダイオードの実装に適用して、低コストで体積 2.2cc の小型のモジュールを実現した。マルチモードファイバを用いて送受信モジュールの 100m 伝送を確認した。

キーワード 光インターコネクション、パッシブアライメント

622Mbps/ch×12ch Transmitter and Receiver Module for Parallel Optical Interconnections

○I.Yoneda *K.Matsumoto T.Nagahori **K.Shiba **K.Senga ***K.Miyoshi

Transmission Devices Div.,NEC Corp., *NEC Yamanashi,Ltd., **Kansai Electronics Research Labs.,

*** Optoelectronics and High Frequency Device Research Labs.,NEC Corp.

1753, Shimonumabe,Nakahara-ku, Kawasaki, Kanagawa 211-8666

Tel (044) 435-5249

Abstract 622Mbps/ch 12-channel transmitter and receiver module has been developed for intra- and inter-cabinet interconnection in massively parallel computers and large-scale ATM switching systems. Precise tree-dimensional passive alignment of a 12-channel 1.3 μ m laser diode(LD) and a 12-channel InGaAs PIN photo diode can be assembled without optical adjustment, so that low cost and a compact size of 2.2cc are achieved. The applicability of newly developed transmitter and receiver module has been demonstrated through a transmission experiment over 100m length of multi-mode optical fibers.

key words Optical interconnection, passive-alignment

1. はじめに：

近年、交換機やルータ、超並列計算機等の架間、架内(伝送距離：～100m 程度)大容量データ伝送を低コストでなおかつ高実装密度で実現する手段として並列光リンクの適用が注目されている。[1]

この並列光リンクに用いる光送受信モジュールでは高スループット化と低コスト化が求められるが、従来の光軸調整、YAG 溶接によるいわゆるアクティブアライメント方式では、調整コストが大きくなってしまふ。

本稿では、上記課題を克服する 622Mbps×12ch 並列光インターコネクション用光送受信モジュールのパッシブアライメント実装技術について報告する。

送信モジュールにはビジュアルアライメント技術、受信モジュールには AuSn 半田バンプによるセルフアライメント技術を適用した。

2. 構成：

図 1 に 622Mbps×12ch 光送受信モジュールの構成を示す。チャンネル数は MPO 光コネクタの最大芯数である 12 とした。モジュール外形は 35mm(L)×26mm(W)×11mm(H)である。

送信モジュールは信頼性並びにアイセフティを考慮して波長 1.3μm の 12 チャンネル FP-LD (PBH-LD) と GI62.5MMF、LD 駆動 LSI より構成される。DC 動作を実現するために後方にモニタ PD を配置する従来の APC 方式に替わり、サーミスタを適用したフィードフォワード型温度補償方式を採用して光出力パワーの安定化を達成している。

受信モジュールはクロストーク低減のためにチャンネル毎にアノードとカソードを分離した素子分離型 12 チャンネル PIN-PD と GI-62.5MMF、ATC 技術を用いた受信 LSI より構成される。

図 1 に開発した光送受信モジュールの機能ブロック図を示す。図 2 にモジュール外観写真を示す。

3. パッシブアライメント実装技術

送信モジュール

図 3 に LD 素子構造断面図を示す。発光層は 2 段 SCH-MQW 構造、埋め込み構造は p 基板上的 PBH である。チャンネル間ピッチ 250μm、共振器長 250μm、前方後方端面には α-Si/SiSO₂ 多層誘電体膜を施し、前方反射率 75%、後方反射率 95%、放射角は 23deg、12 チャンネル一体型である。

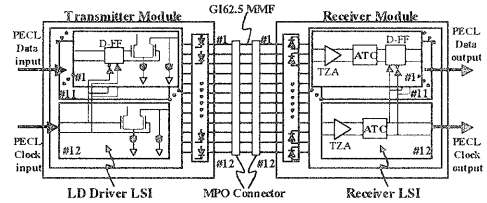


図 1 光送受信モジュール機能ブロック図

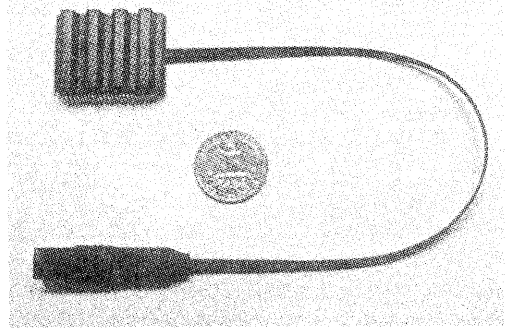


図 2 モジュール外観写真

図 4 に I-L 特性(25,85°C)、図 5, 6 にしきい値電流の分布と温度特性を示す。素子作製に MOVPE プロセスを適用しているため、ウエハ内でしきい値ばらつきは±0.4mA 以下である。同一アレイ素子内では、しきい値電流が 2.25±0.15mA(@25°C)、5.6mA±0.3(@85°C)で均一な特性が得られている。順方向電流は 2mW 出力で 17.5mA(@85°C)である。

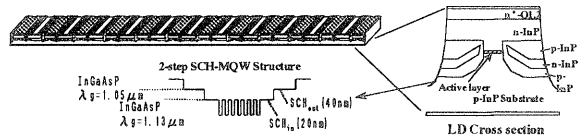


図 3 LD 素子構造断面図

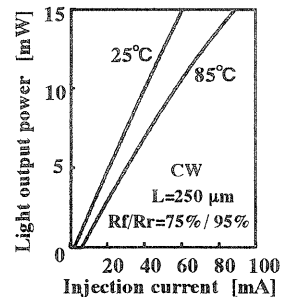


図 4 I-L 特性

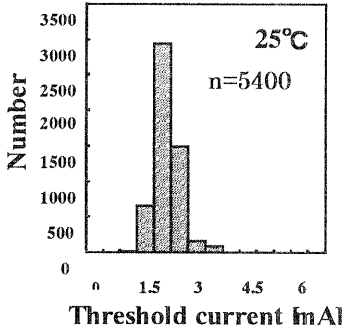


図5 しきい値電流分布

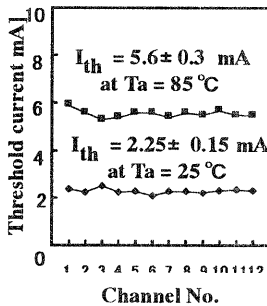


図6 しきい値電流温度依存性

Si基板表面とLD素子のカソード側にそれぞれ形成したアライメントマーカを赤外光で透過、画像認識装置を使って自動調整で所定の位置にジャンクションダウンでSi基板にAuSn半田実装される。Si基板はCr-Pt-Auの電極パターン上にあらかじめSn-Auの多層膜をリフトオフで形成している。実装精度 $\pm 1\mu\text{m}$ 以下である。

光ファイバはSi基板にKOHで異方性エッチングにより精度良く形成したV溝に配置して、先端をV溝に直交してLD端面近くに形成した矩形溝に突き当てて位置出し、その上からSi基板で挟み込みAuSn半田で固定した。[5][6]

GI-62.5MMFとLD素子の光結合損失は3dB以下で軸ずれによる損失増加は小さい。

図7にLD素子をSi基板に実装したSEM写真を示す。図8に光学系構造断面を示す。

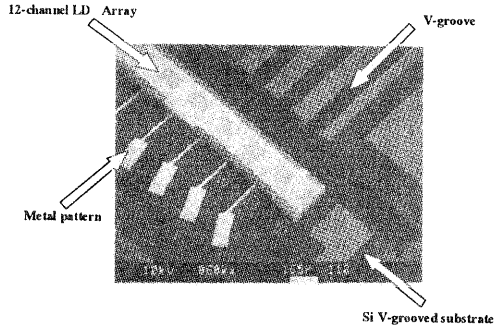


図7 LD実装外観写真

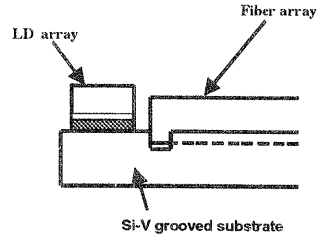


図8 LD光学系構造断面

受信モジュール：

図9にPD素子の構造断面図を示す。クロストーク低減を目的にチャンネル毎にアノードとカソードを分離したInGaAsプレーナ型PIN-PDである[2][3][4]。素子構造はFeドープInP絶縁基板上にn+-InP Buffer層、n-InGaAs吸収層、n-InP cap層、隣接するチャンネル間で電気的に分離するためS.I-InP基板までエッチングしたメサ構造としている。

チャンネル間ピッチはLD素子と同様 $250\mu\text{m}$ 一体型である。受光径はGI62.5MMFの光結合系と内部容量を考慮して $80\mu\text{m}\phi$ とした。アノード電極とカソード電極は半田バンプ接合を考慮して直径 $70\mu\text{m}\phi$ とした。図10に暗電流特性分布を示す。暗電流は 1nA 以下(@ $V_r=10\text{V}$ 、室温)、量子効率は95%以上(@波長 $\lambda=1.3\mu\text{m}$ 、 $V_r=1.5\text{V}$)で均一な特性が得られている。

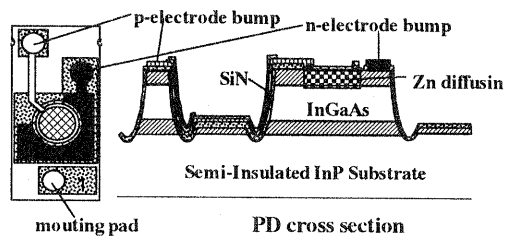


図9 PD素子構造断面図

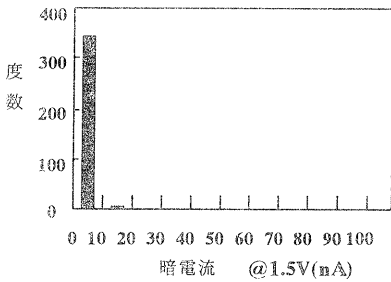


図 1 0 暗電流特性分布

パンチング加工により $30\mu\text{m}$ 厚の AuSn シート半田から $90\mu\text{m}$ ϕ のポンチで打ち抜き、Si 基板上の接合電極に AuSn 半田バンプを形成。PD 素子の電極面が半田バンプに接するように仮置きした後、実装機内を窒素置換してフラックスレスで加熱溶解する。溶解した AuSn 半田バンプの表面張力を利用して PD 素子を所定の位置にセルフアライメント接合して実装する。接合後の実装精度は $2\mu\text{m}$ 以下。バンプ高さは $55\pm 5\mu\text{m}$ である。

Si 基板は熱酸化膜 $0.5\mu\text{m}$ 上に Ti-Pt-Au の電極パターンを形成、KOH による異方性エッチングで V 溝を形成、ファイバ端面からの出射光を 90° 折り曲げるために斜面上に Ti-Pt-Au の光反射ミラーを形成している。[7][8][9]

光ファイバは最適位置において、その先端が PD の下に隠れるので、基準点から所要の距離だけ送り位置出ししている。送信モジュール同様光ファイバは Si 基板で挟み込み AuSn 半田で固定している。

GI62.5MMF の結合したときの受光感度は MPO コネクタ損失を含めて $0.9\text{A/W} (@V_r=1.5\text{V})$ 以上である。図 1 1 に PD 実装外観写真を示す。図 1 2 に PD 光学系構造断面図を示す。

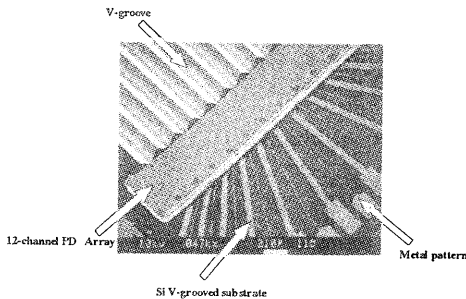


図 1 1 PD 実装外観写真

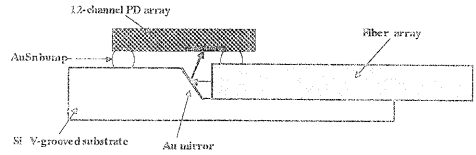


図 1 2 PD 光学系構造断面

4. パッケージング技術

パッケージには放熱性を向上するため送受信モジュールともに LSI 実装面に CuW (銅・タングステン) を、底面に放熱フィンを取り付け、風速 1m/s で熱抵抗 7°C/W 、周囲温度 $0\text{--}70^\circ\text{C}$ の範囲で安定して動作する構成としている。モジュール外形は放熱フィンを取り付けない状態と取り付けた状態でそれぞれ $35\text{mm(L)} \times 26\text{mm(W)} \times 2.4\text{mm(H)}$ 、 $35\text{mm(L)} \times 26\text{mm(W)} \times 11\text{mm(H)}$ である。図 1 3 にモジュール断面模式図を示す。

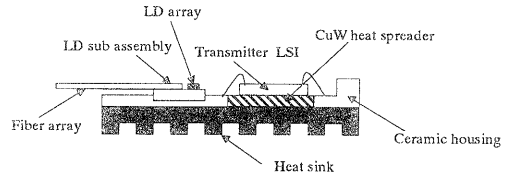


図 1 3 モジュール断面模式図

5. 送受信 LSI

送受信 LSI は $0.5\mu\text{m}$ BiCMOS プロセスを用いて開発した。電源電圧は 3.3V 単一、電気入出力インタフェースは PECL、消費電力は 2.0W (送信)、 1.5W (受信) である。

送信 LSI は入力バッファ、D-FF、nMOS オープンドレインカレントスイッチによる出力段回路で構成される。クロック信号の位相調整回路、LD 発振遅延によるデューティ補償回路、サーミスタによる温度補償用のレファレンス回路を搭載している。

受信 LSI は差動トランスインピーダンス型プリアンプ(TZA)、入力光パワーレベルに関わらずデューティ比を均一に保つ ATC、D-FF、出力バッファで構成される。[10][11][12]

図 1 4 に送受信 L S I の外観写真を示す。

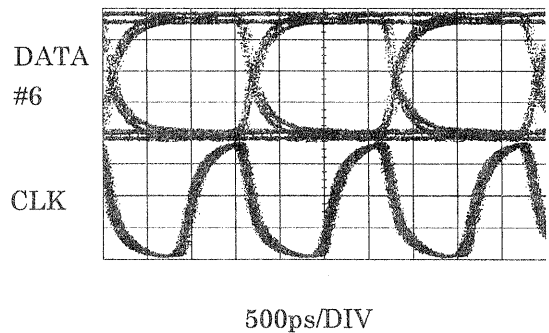
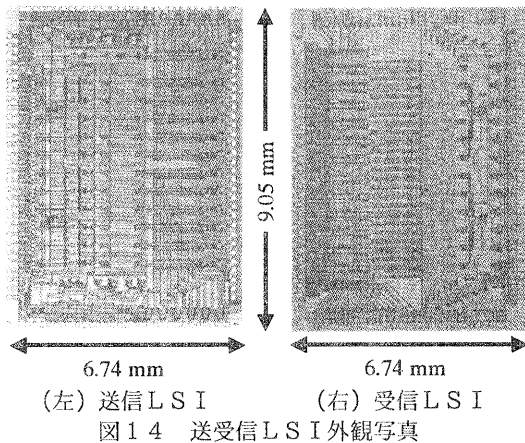


図16 100m伝送後の
受信モジュール出力波形

6. 伝送特性

図15、16に12芯GI62.5MMFを用いて100mの並列伝送を行ったときの全ch同時動作出力波形(DATA ch#6, CLK ch)を示す。測定ch#6には入力信号パターンとして、622Mbit/s 2⁷-1 PRBS + 897bit "1"およびその論理反転を1単位とした信号を入力し、他の10chには干渉信号として、622Mbit/s 2⁷-1 PRBSを入力した。受信信号レベル-10dBm~-4dBmにおいて、100mのファイバスキューを十分許容できる50%以上のアイ開口幅(@誤り率10⁻⁹)が得られた。

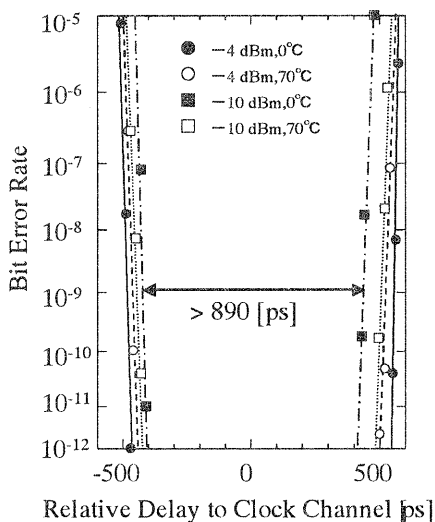


図15 受信特性

7. まとめ

交換機や超並列計算機等の装置間、装置内大容量データ伝送用の622Mbps×12ch光送受信モジュールを開発した。GI-62.5MMFと光学素子を光軸無調整で実装するパッシブアライメント技術を開発したことで、低コストでなおかつ体積2.2ccの小型光送受信モジュールを実現した。表1に光送受信モジュールの主要諸元を示す。

表1 主要諸元

項目	性能	備考
チャンネル数	12	DATA11+CLK 1
スループット	6.8Gbps	
動作速度	DC~622Mbps	1chあたり
伝送距離	100m以上	
波長	1.3μm帯	
入出力インタフェース	PECL	
電源電圧	+3.3V	
消費電力	Tx: 2W(typ) Rx: 1.5W(typ)	
光コネクタ	MPO	
光ファイバ	GI-62.5MMF	12芯
体積	2.2cc	

参考文献

- [1] Yiu-Man Wong et al., J. Lightwave Tech.6, pp995, 1995
- [2] T.Terakado et al., 14th IEEE Int'l Semiconductor Laser Conf. (Hawaii), 1994, PDP.
- [3] Kaede et al., J. Lightwave Tech.8, pp886, 1990
- [4] T.Nakamura, et al., Electronics Lett., Vol.34, No.6, pp.556-557, 1998.

- [5]木村他, 信学会 エレクトロニクスソサイエティ大会, C-200, 1995
- [6] K.Kurata et al., 45th ECTC
- [7] 米田他, 信学会 エレクトロニクスソサイエティ大会, C-198, 1995
- [8]米田他, 信学会 エレクトロニクスソサイエティ大会, C- , 1999
- [9] M.Itoh et al., 46th ECTC,p.1,1996
- [10]N.Watanabe et al.,Data-Format-free 622-Mbit/s/ch 12-channel parallel optical transmitter and receiver,SPIE,2000.
- [11]K.Miyoshi,et al.,OFC,ThN6-1,pp.204-206.
- [12]I.Hatakeyama,et al.,ISSCC Digest of Technical Papers,pp378-379,Feb.,1999

謝辞:

多大な御協力を頂いた当社光コンポーネント研究部、関西エレクトロニクス研究所、NEC 山梨、C&C LSI 開発本部、NEC エンジニアリングの関係者各位に深く感謝致します。また伝送デバイス事業部 中津川主任、秋森氏ならびに関係者各位に感謝いたします。